

Рис.2. Зависимости коэффициентов собственного затухания различных схем гасителей:  
1 – схема на рис. 1а, 2 – схема на рис. 1б, 3 – схема на рис. 1г

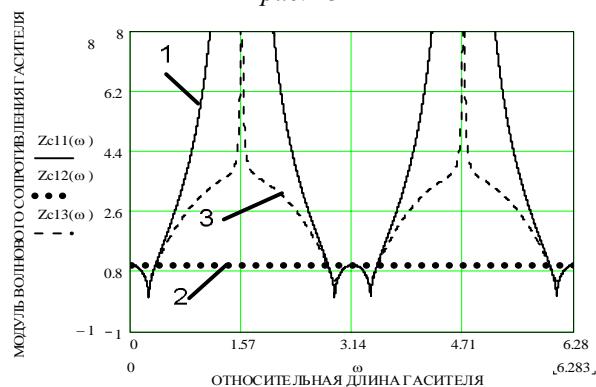


Рис.3. Модули волновых сопротивлений различных схем гасителей:  
1 – схема на рис. 1а, 2 – схема на рис. 1б, 3 – схема на рис. 1г

У рассматриваемых схем устройств этому условию в большей степени соответствует схема на рис. 1б, известная как гаситель с активными волновыми сопротивлениями – графики 2. Основным недостатком схемы является небольшие по сравнению с другими гасителями значения коэффициента

$K_c$ . Этот недостаток можно устранить изменением конструкции устройства – выполнить её многозвенной при сохранении продольных и поперечных габаритов установленных в однозвенном варианте устройства.

Зависимости коэффициентов  $K_c$  для однозвенного и двухзвенного вариантов устройств показаны на рис. 4.

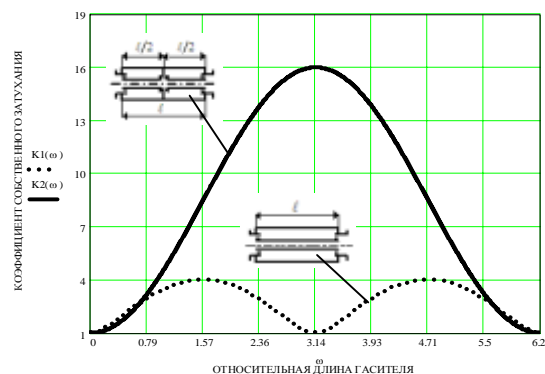


Рис.4. Влияние структуры гасителя на его собственные характеристики

Из анализа графиков следует, что при низких частотах небольшое преимущество в величине  $K_c$  имеет однозвенная схема устройства. При высоких частотах эффективность двухзвенного устройства становится существенно выше.

#### Библиографический список

1. Шорин, В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах [Текст] / В.П. Шорин. – М.: Машиностроение, 1980. – 156 с.
2. Головин, А.Н. Гасители колебаний для гидравлических систем [Текст] / А.Н. Головин, В.П. Шорин. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2005. – 168 с.

УДК 662.612.3

### ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ В КАНАЛЕ ПРИ ВЫСОКОЭНТАЛЬПИЙНОМ ПОТОКЕ

©2018 И.А. Зырянов, А.П. Позолотин, А.Г. Будин, В.В. Каргапольцев

Вятский государственный университет, г. Киров

### ELECTROSTATIC FIELD INFLUENCE ON THE COMBUSTION RATE OF POLYMERS IN CHANNEL AT HIGH-ENTHALPY FLOW

Zyryanov I.A., Pozolotin A.P., Budin A.G., Kargapol'tsev V.V (Vjotka State University, Kirov, Russian Federation)

The paper presents experimental study results of polyethylene (PE100) and polyamide combustion rates in a hybrid rocket engine (HRE) under the action of an electric field. Oxygen was used as an oxidizing agent. It is shown that the potential difference between the electrodes increase leads to an increase in the solid component of the fuel combustion rate.

Разработка методов управления горением твёрдого компонента топлива в энергостановках является важной научно-технической задачей. Возможность управления горением с помощью электрических полей (за счёт наличия ионизации при горении) известна давно и активно изучается. Однако большинство исследований проводятся на модельных системах, которые далеки по своим параметрам от реальных технических устройств.

В работе ставится задача исследования скорости горения полимеров в гибридном ракетном двигателе при воздействии электростатического поля.

Исследования проведены на экспериментальном стенде, подробно описанном в [1]. Центральной частью стенда является гибридный ракетный двигатель, в качестве горючего используются твёрдые блоки длиной 200 мм, с высверленным по центру каналом диаметром 20 мм. В работе использовались блоки из полиэтилена (ПЭ-100) и полиамида. Окислителем выступает газообраз-

ный кислород, который продувается по каналу. Скорость горения твёрдого топлива определяется по методике, приведенной в [1].

Электрическое поле создается между двумя электродами: первый электрод выполнен в виде сетки, обёрнутой вокруг топливного блока, второй электрод размещён по центру канала топливного блока. Этот электрод представляет собой металлический стержень, помещённый в кварцевую трубку. По трубке для сохранения изоляционных свойств кварца при высоких температурах в камере сгорания продувается азот. Исследования проведены при разностях потенциалов 0, 3 и 5 кВ между электродами.

Результаты исследований приведены на рис.1. При всех рассмотренных расходах окислителя наблюдается увеличение скорости сгорания твёрдого компонента топлива. Для полиамида увеличение массовой скорости горения составляет 10% при напряжении 5 кВ, для полиэтилена - 8%.

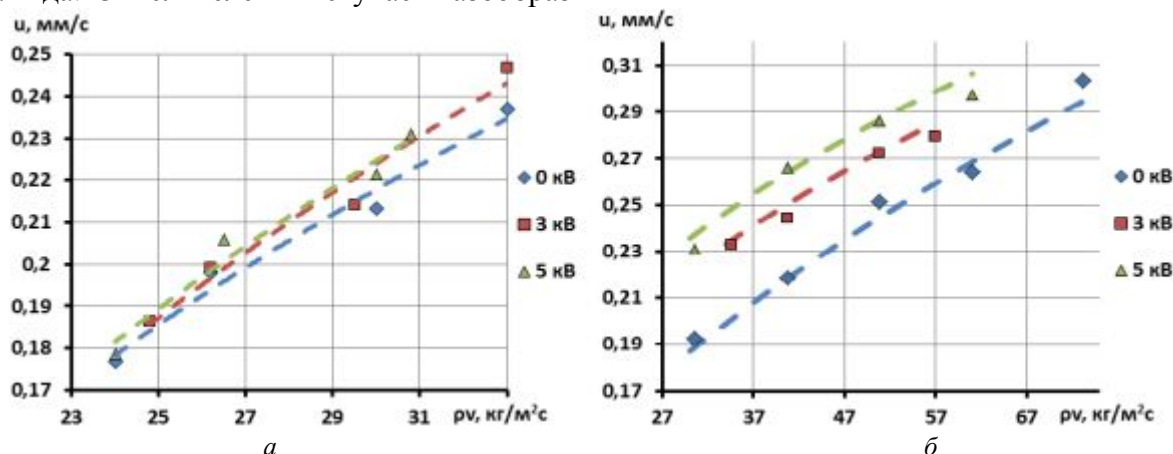


Рис. 1. Зависимости скорости горения твёрдых компонентов топлива от плотности потока окислителя при наличии электростатических полей. а) полиэтилен б) полиамид

По полученным массовым расходам твёрдого компонента найдены законы горения в виде  $u = A \cdot (\rho v)^\nu$ , где  $\rho v$  - массовый расход окислителя,  $A$  и  $\nu$  - константы. Для этого по массовой скорости находятся значения линейной скорости движения поверхности твёрдого компонента топлива. Далее строится график зависимости  $\lg(u)$  от  $\lg(\rho v)$  и методом наименьших квадратов находится линейная функция. Множитель в данной функции - это  $\nu$ , а свободный член есть  $\lg(A)$ . Полученные законы горения имеют вид:

Полиэтилен:

$$u = 0,01 (\rho v)^{0,86} \text{ при } 0 \text{ кВ,}$$

$$u = 0,01 (\rho v)^{0,94} \text{ при } 3 \text{ кВ,}$$

$$u = 0,01 (\rho v)^{0,95} \text{ при } 5 \text{ кВ.}$$

Полиамид:

$$u = 0,033 (\rho v)^{0,51} \text{ при } 0 \text{ кВ,}$$

$$u = 0,059 (\rho v)^{0,39} \text{ при } 3 \text{ кВ,}$$

$$u = 0,068 (\rho v)^{0,37} \text{ при } 5 \text{ кВ.}$$

Полученные законы горения свидетельствуют о различии в механизмах влияния поля на изменение скорости убыли массы твёрдого компонента. Так для полиамида электрическое поле влияет на предстепенной множитель, что может быть интерпретиро-

вано как изменение процессов в поверхностном слое, при этом режим горения смещается к диффузионному. Для полиэтилена наблюдается изменение только показателя степени, что свидетельствует о смещении режима горения к кинетическому.

Таким образом, в работе получены значения массовой скорости горения твёрдого компонента топлива в ГРД. Показано, что воздействие электростатического поля увеличивает скорость убыли массы топливного блока. Получены законы горения исследованных топливных пар. Обнаружено, что для

полиамида наблюдается изменение предстепенного множителя и показателя степени, а для полиэтилена изменение наблюдается только в показателе степени.

#### Библиографический список

1. Решетников С.М. Влияние электростатического поля на скорость горения в гибридном ракетном двигателе / С.М. Решетников, И.А. Зырянов, А.П. Позолотин, А.Г. Будин // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2015. – Т. 71. – С. 52-57.

УДК 621.45

### ТЕРМОЭМИССИОННАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ГОРЯЧЕГО ТРАКТА ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

© 2018 А.В. Колычев, В.А. Керножицкий

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»,  
г. Санкт-Петербург

#### THERMIONIC COOLING SYSTEM OF CERAMIC HOT PARTS OF GAS TURBINE ENGINE

Kolychev A.V., Kernozhitsky V.A. (Baltic state technical university «VOENMEH»,  
S.Peterburg, Russian Federation)

*Theses are devoted the Thermionic Cooling System (TCS) of the turbine blades (TB) and other thermointense elements (TE) of the gas turbine units (GTU) and engines (GTD) made of ceramic materials with metallic conductivity (borides and carbides). The essence of TCS consists in increase in thermoemissive capacity of surface of LT and TE (ensuring electron work function). So, during electron work function of surface of TB from borides ceramics in 2.7 eV reduction of temperature by 120-150°C and decrease in temperature stresses by 50-60% is possible. Thus, TCS allows to solve the main problems of TB and TE from borides and carbides (low crack resistance) without the need for the difficult internal cooling system.*

Сейчас активно ведутся разработки турбин, полностью выполненных из керамических материалов [1-4]. К достоинствам таких турбин можно отнести высокие рабочие температуры и отсутствие при этом необходимости в сложных системах охлаждения. Проблемой же является низкая трещиностойкость, возникающая по причине температурных градиентов, напряжений и деформаций.

Среди перспективных керамических материалов лопаток турбин можно выделить материалы на основе C-SiC, SiC-SiC [1], Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [2], карбидов, боридов [3] и нитридов [4].

Бориды и карбиды характеризуются высокой электрической проводимостью, поэтому изделия из таких материалов можно

охлаждать при помощи термоэмиссионной системы охлаждения лопаток турбин [5-7], разрабатываемой в БГТУ и основанной на явлении электронного охлаждения при термоэлектронной эмиссии [8-9].

Мировая новизна и работоспособность метода подтверждена Патентами на изобретения [5-6] и патентом на полезную модель [7]. Причем Патент № 2573551 входит в список «100 лучших изобретений России 2015 года». Первая публикация за рубежом [10] вышла в то время, когда у БГТУ уже были патенты.

Проведены оценки теплового эффекта в допущении постоянства работы выхода электронов (термоэмиссионных свойств) керамических ЛТ.